

床版防水に着目した道路橋床版の損傷進展速度評価

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○宇野 裕亮
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 貝戸 清之
 京都大学経営管理大学院 フェロー 小林 潔司
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 二宮 陽平

1. はじめに

コンクリート系床版において、水が床版に浸透した場合、床版の耐久性を大幅に減少させることが既往研究によって明らかにされている。そのため、コンクリート床版の耐久性を向上させるためには、床版へ雨水等の浸透を防ぐための床版防水が重要であるとの認識が広がっている。2002年に改訂された道路橋示方書において、「アスファルト舗装とする場合は、橋面より侵入した雨水等が床版内部に浸透しないように防水層等を設けるものとする。」と明記された。また、2007年には道路橋床版防水便覧が、2016年には道路橋床版防水システムガイドラインが出版され、床版防水の設計・施工基準として用いられている。これら設計・施工基準の検証としてFEM解析や輪荷重試験機等による床版防水と床版・舗装との動的耐久性評価が行われているが、床版防水の施工による床版に発生する損傷進展速度の変化に関する研究は、十分に蓄積されているとはいえない。

そこで本研究では、蓄積された目視点検データを用いて、床版防水の施工が床版ひび割れの損傷進展速度低減に与える影響を評価する。具体的には、1)健全度毎の階層的な異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデルを定式化し、2)階層ベイズ推計された異質性パラメータを用い、コンクリート系床版のひび割れ損傷進展速度に対する床版防水の効果に関して分析をおこなう。

2. 階層的な異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデル

(1) モデルの定式化

本研究においては目視点検データに基づく、個々の社会基盤施設の劣化予測を目的としている。分析の対象とする社会基盤施設を K 個の施設グループ(評価単位)

に分割する。ある施設グループ $k(k=1, \dots, K)$ は、合計 L_k 個の施設で構成されている。また目視点検では社会基盤施設の劣化状態によって健全度が I 段階で記録される。施設グループ k が健全度 $i(i=1, \dots, I-1)$ の状態での劣化速度(以下、ハザード率)の異質性を表す異質性パラメータ ε_i^k を導入する。このとき、施設グループ k の施設 $l_k(l_k=1, \dots, L_k)$ の健全度 i での個別ハザード率 $\lambda_i^{l_k}$ は

$$\lambda_i^{l_k} = \tilde{\lambda}_i^{l_k} \varepsilon_i^k \quad (1)$$

と定義される。ここで、 $\tilde{\lambda}_i^{l_k}$ は施設グループ k の施設 l_k の健全度 i での標準ハザード率である。異質性パラメータ ε_i^k は個別ハザード率 $\lambda_i^{l_k}$ の標準ハザード率 $\tilde{\lambda}_i^{l_k}$ からの乖離の程度を表す確率変数である。標準ハザード率 $\tilde{\lambda}_i^{l_k}$ としては指数ハザードモデル

$$\tilde{\lambda}_i^{l_k} = \exp(\mathbf{x}^{l_k} \boldsymbol{\beta}_i') \quad (2)$$

を採用した。 $\mathbf{x}^{l_k}$ は社会基盤施設の構造特性や環境条件を表す特性ベクトル、 $\boldsymbol{\beta}_i$ は未知パラメータベクトルを表し、 $'$ は転置を表す。

式(1)を用いることにより、ある時刻に健全度 i と判定され、時間 z^{l_k} 経過後、健全度 j と判定されるマルコフ推移確率 π_{ij} は

$$\pi_{ij} = \begin{cases} \exp(-\lambda_i^{l_k} z^{l_k}) & (i=j) \\ \sum_{s=i}^j \prod_{m=i, \neq s}^{j-1} \frac{\lambda_m^{l_k}}{\lambda_m^{l_k} - \lambda_s^{l_k}} \exp(-\lambda_s^{l_k} z^{l_k}) & (i < j) \\ 0 & (i > j) \end{cases} \quad (3)$$

と表される。

(2) ベイズ推計

本研究ではパラメータの推計手法としてマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた階層ベイズ推計を用いる。異質性パラメータ ε_i^k の事前分布として平均1、分散 $1/\phi_i$ のガンマ分布を仮定する。さらにガンマ分布の分散パ

キーワード 床版防水 道路橋床版 点検データ ハザードモデル アセットマネジメント

連絡先 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 TEL: 06-6879-7622

ラメータ ϕ_i に対しても事前分布として平均 $\alpha_i \gamma_i$ 、分散 $\alpha_i \gamma_i^2$ のガンマ分布を仮定している。

3. 実証分析

本分析では階層的な異質性パラメータを径間毎に設定する。さらに、異質性パラメータを用い、床版防水がコンクリート系床版におけるひび割れ損傷の進展速度低減に及ぼす影響を評価する。そのため、床版防水の施工の有無によって異質性パラメータを設定した。これにより、径間毎に異質性パラメータは最大で4個設定される。

床版防水の施工の有無によって、推計される異質性パラメータに差異が生じているか否かをWilcoxonの符号付順位和検定を用いて検定する。床版防水施工前後の異質性パラメータの集合を Φ_0^i 、 Φ_1^i とする。このとき帰無仮説 H_0^i と対立仮説 H_1^i は

$$\begin{aligned} H_0^i: \Phi_0^i &\leq \Phi_1^i \\ H_1^i: \Phi_0^i &> \Phi_1^i \end{aligned} \quad (4)$$

と定義される。階層ベイズ推計された異質性パラメータのうち、床版防水の施工の有無以外の構造特性や環境条件を取り除くため、同一径間の同一階層で、かつ、床版防水の有無による異質性パラメータの組を作成できるものをサンプルとした。それぞれの階層のサンプルを図-1、図-2に示す。

これらのサンプルをもとにWilcoxonの符号付順位和検定を行ったところ、統計検定量がそれぞれ-7.44、-2.14となり、有意水準5%で帰無仮説が棄却された。つまり、床版防水を施工することによって異質性パラメータが低減しているといえる。言い換えると、床版防水施工前後で構造特性や環境条件が変化しないことを考慮すると、床版防水を施工することによって、コンクリート系床版に発生しているひび割れ損傷の進展速度低減を見込むことが出来る。

4. おわりに

本研究では、個々の社会基盤施設の階層的な異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いることで、床版防水がコンクリート系床版におけるひび割れ損傷の進展速度低減に及ぼす影響を評価した。その結果、床版防水の施工によって損傷進展速度を低減できることが確認された。

今後の課題として、第1に本研究で用いたモデルでは点検データの損傷進展度の推移状況によっては、デ

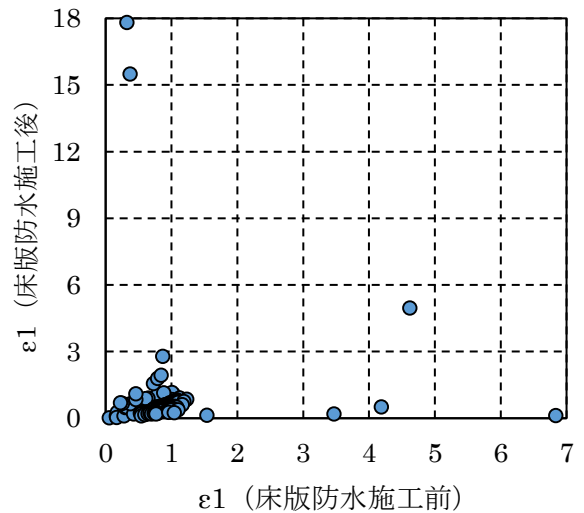


図-1 床版防水施工前後の異質性パラメータ $\varepsilon 1$

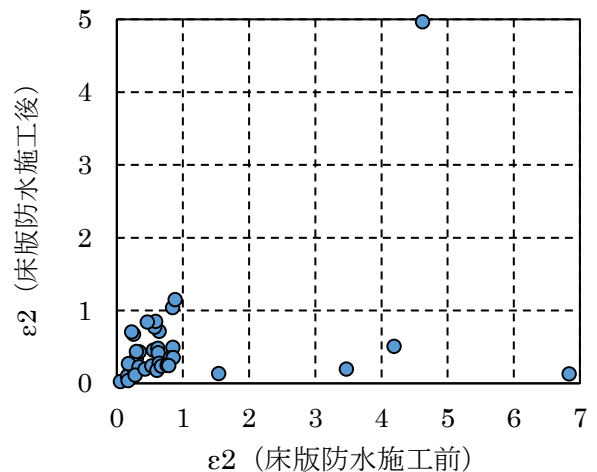


図-2 床版防水施工前後の異質性パラメータ $\varepsilon 2$

ータの欠損が発生し、階層的な異質性パラメータを推計できない場合が存在している。そのため、推計できない異質性パラメータを評価する方法論を開発する必要がある。第2に、本研究ではコンクリート系床版におけるひび割れに着目し、床版防水工の効果を評価したが、今後適用範囲を拡大し、方法論の逐次改良を行うことが重要である。

【参考文献】

- 1) 小濱健吾, 岡田貢一, 貝戸清之, 小林潔司: 劣化ハザード率評価とベンチマーキング, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.857-874, 2008.
- 2) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大: 混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推計, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.4, pp.255-271, 2012.